

Ultrasonografía cardíaca enfocada en la cabecera del paciente - Revisión de la literatura

(FOCUS – Focused Cardiac Ultrasound).

Felipe Quintero Ramírez*, Andrés O. Acevedo Cardona**

*Residente IV año especialización en Medicina Crítica y Cuidado Intensivo. Universidad Tecnológica de Pereira

**Especialista en Medicina Crítica y Cuidado Intensivo. Máster en Ecocardiografía del paciente crítico. Docente posgrado Medicina Crítica y Cuidado Intensivo Universidad Tecnológica de Pereira.

Resumen:

La evaluación mediante ultrasonido (US) del paciente crítico ha evolucionado de forma significativa durante el último cuarto de siglo. De la mano de un mayor desarrollo tecnológico y una más amplia disponibilidad de equipos, se ha evidenciado también un mayor interés en explorar las diferentes aplicaciones de esta herramienta a la cabecera del paciente. La ultrasonografía cardíaca enfocada (eg. FOCUS: Focused Cardiac Ultrasound) es el estudio recomendado para la evaluación ecocardiográfica cardíaca para no cardiólogos. A diferencia de un ecocardiograma detallado, la evaluación mediante FOCUS puede ser realizada por intensivistas u otros especialistas encargados de atender pacientes críticos, requiere un entrenamiento menos avanzado, y busca dar respuesta a preguntas puntuales con miras a definir una conducta clínica de forma rápida en el escenario del paciente críticamente enfermo. La evidencia disponible actualmente soporta el uso de esta tecnología especialmente para la identificación de derrame pericárdico y taponamiento cardíaco, la valoración semicuantitativa de la función sistólica ventricular izquierda, la búsqueda de signos de embolismo pulmonar, y la valoración del volumen intravascular y predecir posible respuesta a volumen. La presente es una revisión no sistemática de la literatura, utilizando las bases de datos PubMed, MedLine, ClinicalKey, OvidSP, ScienceDirect, SCOPUS, y SpringerLink, y pretende describir los aspectos más importantes de la evaluación US mediante FOCUS, su aplicabilidad clínica y la evidencia que la respalda.

Palabras clave: Ultrasonografía, Cuidado crítico, Ecocardiografía.

Abstract:

The ultrasound (US) evaluation of the critically ill patient has significantly evolved over the past quarter of this century. Along with greater technological development and a wider availability of equipment, there has also been a greater interest in exploring the different applications of this tool at the bedside. The focused cardiac ultrasound (FOCUS) is the recommended cardiac US exam performed by non-cardiologists. Unlike a detailed, comprehensive echocardiogram, the FOCUS evaluation may be performed by intensivists or other specialists in charge of critical care patients, requires a less advanced training, and seeks to answer specific questions with the aim of rapidly direct the management in the

critically ill patient. The available evidence supports the use of this technology specially to identify pericardial effusion and cardiac tamponade, to evaluate in a semiquantitative fashion the left ventricular systolic function, to look for signs of pulmonary embolism, and to evaluate de intravascular volume and perhaps predict volume responsiveness. This is a non-systematic literature review, using databases as PubMed, MedLine, ClinicalKey, OvidSP, ScienceDirect, SCOPUS, and SpringerLink, and pretends to describe the most important aspects of the US evaluation through FOCUS, its clinical applicability and the clinical evidence behind it.

Keywords: Ultrasonography, Critical Care, Echocardiography.

Introducción.

El uso de ultrasonido (US) aplicado en el paciente crítico ha venido evolucionando y ganando terreno durante las últimas décadas en la práctica clínica. Los adelantos en tecnología de los equipos de US y el reconocimiento cada vez mayor de la utilidad de esta herramienta han sido la fuerza motriz de este proceso evolutivo (1) (2). Además de su uso como guía para realizar diferentes procedimientos, el estudio en tiempo real de diversas regiones y estructuras anatómicas permite una evaluación rápida y (en la mayoría de los casos) precisa que favorece la toma de decisiones terapéuticas.

El ecocardiograma transtorácico (ETT) realizado por no cardiólogos es uno de los ejemplos de la aplicación de esta tecnología en el escenario de la medicina de urgencias, el cuidado intensivo, y el cuidado perioperatorio de pacientes seleccionados (3). Diferentes términos se han utilizado para referirse a este tipo de evaluación; sin embargo, el que más ha ganado aceptación y que además está recomendado por parte de la Sociedad Americana de Ecocardiografía (ASE), es el de “Focused Cardial Ultrasound”, o “FOCUS” (4) (5). A diferencia de la ecocardiografía detallada realizada por cardiólogos y ultrasonografistas certificados, este tipo de estudio pretende realizar una evaluación rápida y sistemática para dar respuesta a una serie de preguntas clínicas orientadas a confirmar o descartar patologías potencialmente letales (6). Usualmente esta estrategia es aplicada en escenarios en los cuales la toma de decisiones clínicas es prioritaria, y no se cuenta con la disponibilidad de realizar un ecocardiograma detallado de forma oportuna.

A pesar de que el número de estudios requeridos varía de acuerdo con diferentes sociedades científicas (7), se puede concluir que tras un período relativamente corto de entrenamiento teórico y práctico supervisado, el operador puede alcanzar la habilidad necesaria para evaluar de forma cualitativa o semicuantitativa la función sistólica global del ventrículo izquierdo (VI), así como la presencia de derrame pericárdico y signos de taponamiento cardíaco, signos de hipovolemia, signos directos o indirectos de embolismo pulmonar, algunas alteraciones en las estructuras valvulares y los grandes vasos, entre otros hallazgos (8). La integración

de la US cardíaca con otras técnicas de evaluación como la US pulmonar se constituyen actualmente como una herramienta muy útil dentro del abordaje de pacientes críticos en diferentes escenarios como la parada cardiorrespiratoria, el choque circulatorio, la falla respiratoria (9) y la falla cardíaca aguda, entre otros (10). La técnica y aplicaciones de la US pulmonar han sido descritas en otros artículos recientes, y no serán abordadas en este documento.

El presente artículo de revisión pretende resaltar de forma actualizada los aspectos más importantes referentes a la técnica para la realización de la evaluación cardíaca dirigida mediante ultrasonografía (FOCUS), la interpretación de las imágenes, y la aplicabilidad clínica en los diferentes escenarios de la medicina de urgencias y el cuidado intensivo.

Técnica

El transductor ideal para realizar el estudio es el transductor sectorial; su baja frecuencia (1-5 MHz) permite una mayor profundidad en la imagen, a expensas de una menor resolución axial y lateral. Sin embargo, permite una mejor resolución temporal con la configuración del modo cardíaco, lo que permite una evaluación más precisa de estructuras en movimiento, haciéndolo ideal para la valoración del corazón y los aparatos valvulares (11). Además, su huella pequeña es más fácilmente adaptable a las características anatómicas del tórax permitiendo la evaluación de estructuras profundas al acomodarse al espacio entre las costillas (12). A diferencia de otros estudios, en la evaluación en modo cardíaco el marcador del transductor en la pantalla del equipo estará posicionado a la derecha (13).



Imagen Nro. 1. Posición del marcador. Por convención, para la US cardíaca el marcador en la pantalla del equipo estará localizado a la derecha de la pantalla (flecha roja). En este caso, el marcador del transductor está apuntando hacia el hombro izquierdo (flecha azul), en la localización para obtener una ventana apical 4 cámaras (ver más adelante).

La evaluación FOCUS comprende la obtención de imágenes ultrasonográficas en modo 2D (modo B) y en modo M (movimiento); la evaluación mediante análisis Doppler requiere un entrenamiento adicional, y funciones más avanzadas que usualmente no están disponibles en los equipos usados a la cabecera del paciente (7). Aunque el uso de estas características podría tener utilidad en escenarios específicos, no está incluida dentro del espectro del FOCUS (4).

Existen diversas ventanas ecocardiográficas que se pueden obtener para la evaluación de estructuras cardíacas. La evaluación FOCUS incluye principalmente 5 ventanas: paraesternal eje largo, paraesternal eje corto, apical 4 cámaras, subxifoidea 4 cámaras y subxifoidea vena cava inferior (14). Debe reconocerse, sin embargo, que el escenario del paciente en condición crítica representa un reto para la obtención adecuada de imágenes, incluso para profesionales con entrenamiento avanzado; la posición del paciente, la interferencia pulmonar por la ventilación mecánica, y el contexto de urgencia, entre otras circunstancias, contribuyen a aumentar el grado de dificultad para realizar la evaluación (15).

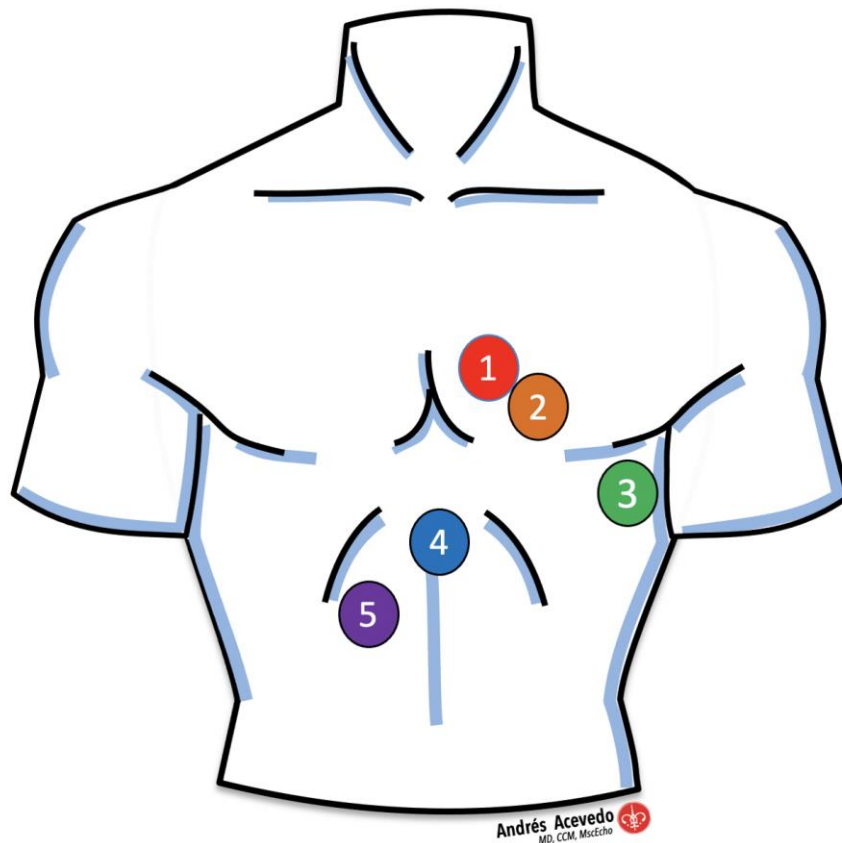


Imagen Nro. 2: Localización del transductor para obtener las diferentes ventanas ecocardiográficas usadas en la evaluación FOCUS. 1). Ventana paraesternal eje largo. 2) Ventana paraesternal eje corto. 3). Ventana apical 4 cámaras. 4) Ventana subxifoidea 4 cámaras. 5) ventana subcostal vena cava inferior.

A continuación, se describirán *los aspectos más importantes* acerca de cada ventana, así como la forma de obtener las imágenes, reconociendo que pueden existir variaciones entre pacientes que requerirán ajustes a la manipulación de la sonda (angulación, rotación) en aras de mejorar la calidad de la imagen.

- **Ventana paraesternal eje largo:** las estructuras a visualizar son el tracto de salida del ventrículo izquierdo, septum interventricular, ventrículo izquierdo con su pared posterior, parte del ventrículo derecho, la aurícula izquierda, válvula mitral, válvula aórtica, raíz y aorta ascendente, pericardio y parte de la aorta descendente. Mediante la valoración FOCUS, permite realizar una valoración cualitativa o semicuantitativa de la función ventricular (16), evaluar el tamaño de la aurícula izquierda y los ventrículos, el diámetro de la raíz aórtica y parte de la aorta ascendente (17), la presencia de derrame pericárdico o pleural, y la presencia de signos indirectos de embolismo pulmonar, como el aumento de la relación ventrículo derecho/ventrículo izquierdo (VD/VI) y el aplanamiento del septum interventricular.
- **Ventana paraesternal eje corto:** específicamente en posición medio-ventricular permite visualizar ambos ventrículos, el septum, los músculos papilares anterolateral y posteroinferior (18). En esta ventana se puede valorar la relación e interacción biventricular, la función global subjetiva del ventrículo izquierdo y en algunos casos, la presencia de derrame pericárdico (sobre todo los más extensos) puede visualizarse también en el eje corto.
- **Localización del transductor.** 3er – 4to espacio intercostal izquierdo a nivel del borde esternal.
 - **Dirección:** huella del transductor apuntando hacia la columna torácica.
 - **Profundidad:** 12-24 cms (mayor profundidad para evaluar derrame pericárdico o pleural).
 - **Eje largo:** marcador del transductor apuntando hacia el hombro derecho del paciente.
 - **Eje corto:** marcador apuntando hacia el hombro izquierdo del paciente.

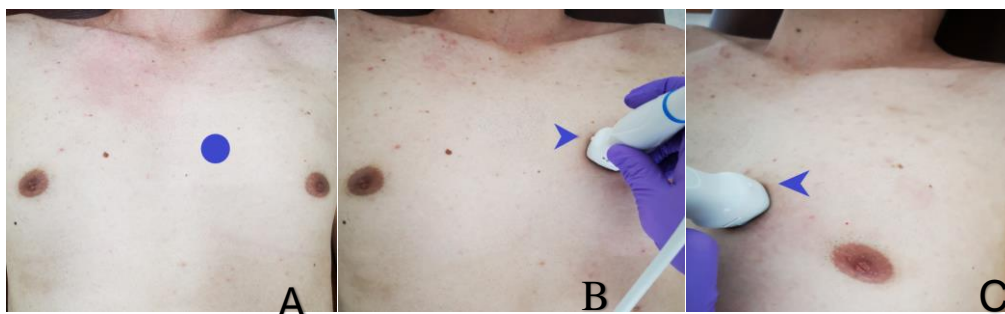


Imagen Nro. 3: **A.** Localización usual del transductor para la ventana paraesternal. **B.** Orientación del marcador para visualizar el eje largo, apuntando hacia las 10 pm, en dirección al hombro derecho del paciente. **C.** Orientación del marcador para visualizar el eje corto, apuntando hacia el hombro izquierdo del paciente.

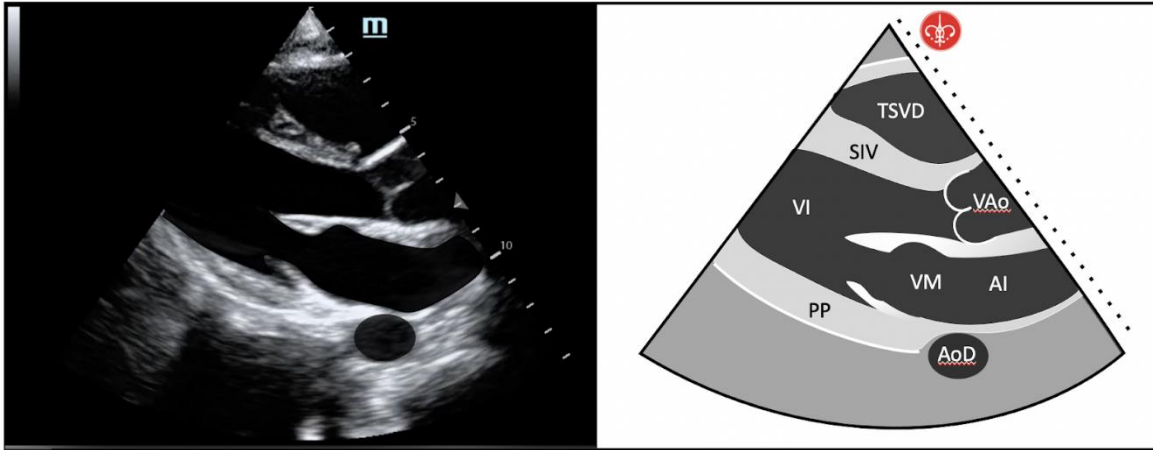


Imagen Nro. 4: Estructuras visualizadas en la ventana paraesternal en el eje largo. AI: aurícula izquierda; AoD: aorta descendente; PP: pared posterior del ventrículo izquierdo; SIV: septum interventricular; TSVD: tracto de salida del ventrículo derecho; VAO: válvula aórtica; VI: ventrículo izquierdo; VM: válvula mitral

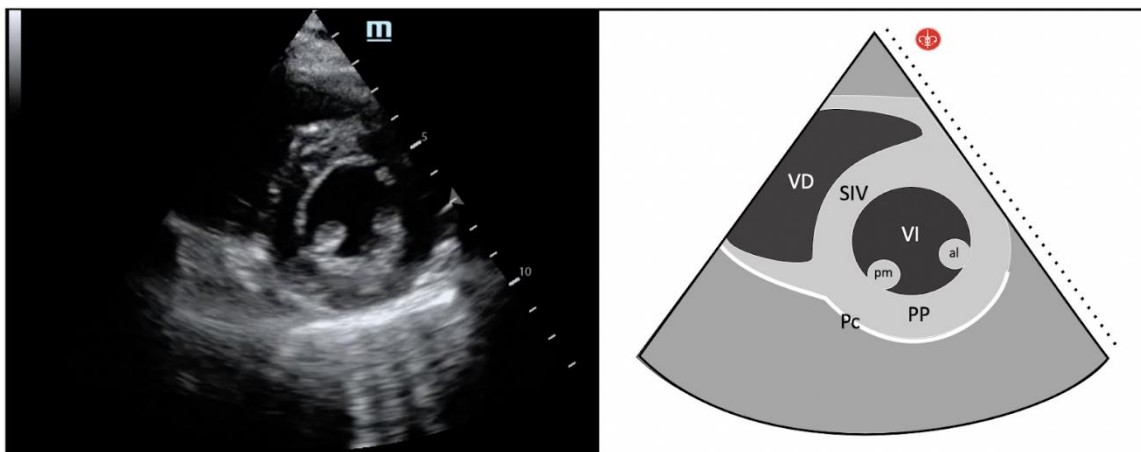


Imagen Nro. 5: Estructuras visualizadas en la ventana paraesternal en el eje corto, sección ventricular media. al: músculo papilar anterolateral; Pc: pericardio; pm: músculo papilar postero-medial; PP: pared posterior del ventrículo izquierdo; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

Ventana apical 4 cámaras: permite visualizar ambas aurículas, ambos ventrículos, el septum interauricular e interventricular, además de las válvulas mitral y tricuspídea (19). La valoración de esta ventana mediante FOCUS permite complementar la evaluación de la función ventricular, el tamaño de las cavidades, la presencia de signos indirectos de embolismo pulmonar (como la dilatación de cavidades derechas con el consecuente aumento de su relación con el ventrículo izquierdo), y, eventualmente la presencia de derrame pericárdico (20)

- **Localización del transductor:** 5to – 6to espacio intercostal izquierdo, usualmente al nivel del punto de máximo impulso.

- **Dirección:** huella del transductor apuntando hacia el hombro derecho.
- **Profundidad:** 15 - 20 cms.
- **Cuatro cámaras:** marcador dirigido hacia las 3 en punto
- **Cinco cámaras:** misma posición que en el cuatro cámaras, pero con una ligera inclinación hacia arriba
- **2 cámaras:** marcador dirigido hacia las 12 en punto.



Imagen Nro. 6. Localización usual del transductor para la ventana apical.

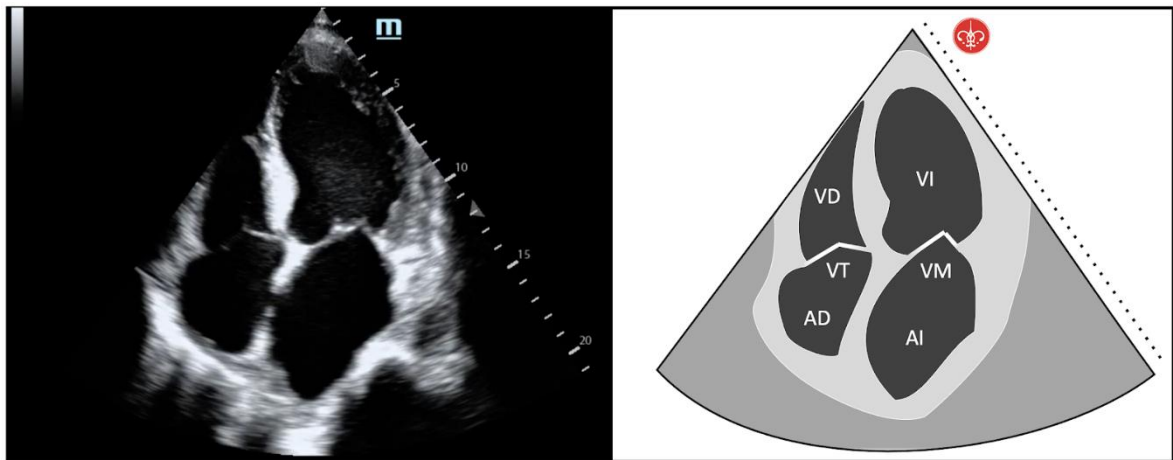


Imagen Nro. 7. ventana apical 4 cámaras. AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; VM: válvula mitral; VT: válvula tricúspide.

- **Ventana subxifoidea 4 cámaras:** permite una visualización de las 4 cámaras cardíacas, el pericardio, y las válvulas mitral y tricúspide (ventana subxifoidea – 4 cámaras). Esta ventana permite evaluar la presencia de derrame pericárdico, así como signos ultrasonográficos de taponamiento como el colapso diastólico de las cavidades derechas. Puede ser útil además para evaluar signos indirectos de embolismo pulmonar como el aumento de la relación VD/VI, y complementar la evaluación cualitativa de la función ventricular. En pacientes con

hiperinsuflación pulmonar (por ejemplo, por asma o EPOC) puede ser difícil visualizar adecuadamente las estructuras mediante las ventanas paraesternal o apical; en este escenario la ventana subxifoidea usualmente ofrece una ventaja al permitir una mejor visión de las estructuras cardíacas (15).

- **Ventana subxifoidea vena cava inferior:** permite la visualización de la vena cava inferior (VCI), cuyo diámetro y variaciones con el ciclo respiratorio pueden usarse para complementar la evaluación del estado de volumen intravascular y predecir la respuesta a volumen (21).
 - **Localización del transductor:** justo debajo de la apófisis xifoides.
 - **Dirección:** huella del transductor apuntando hacia el hombro izquierdo.
 - **Profundidad:** 15-20 cms.
 - **4 cámaras:** marcador apuntando a las 3 pm del reloj.
 - **VCI:** huella apuntando hacia la columna dorsal, y marcador apuntando en dirección cefálica (puede usarse el transductor convexo).

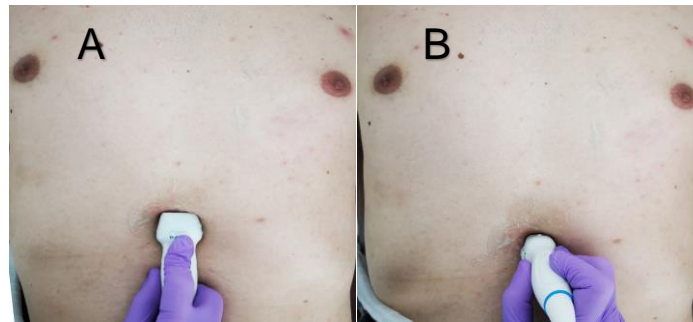


Imagen Nro. 8. Localización usual del transductor para la ventana apical subcostal 4 cámaras (A) y subcostal VCI (B).

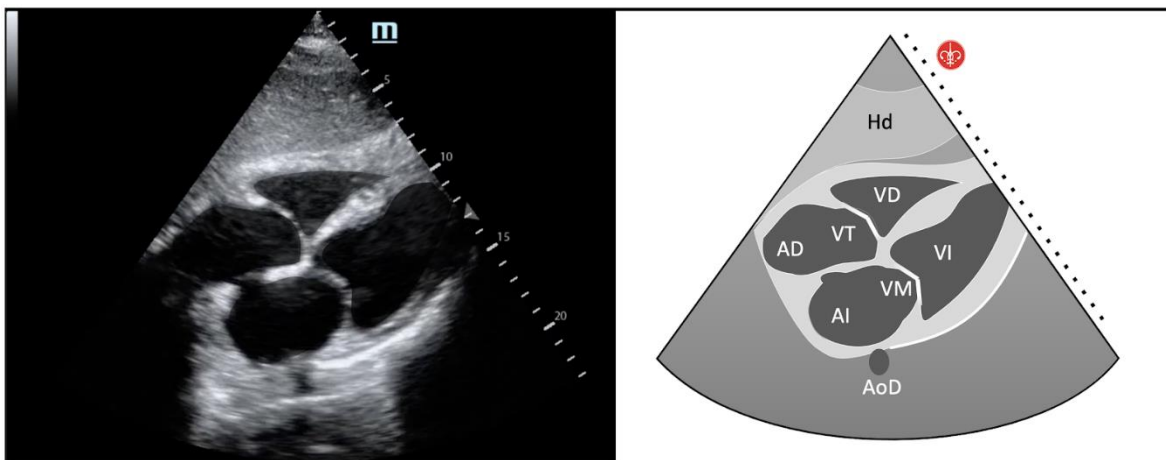


Imagen Nro. 9. Ventana subxifoidea 4 cámaras. AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; AoD: aorta descendente; Hd: hígado; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; VM: válvula mitral; VT: válvula tricúspide.

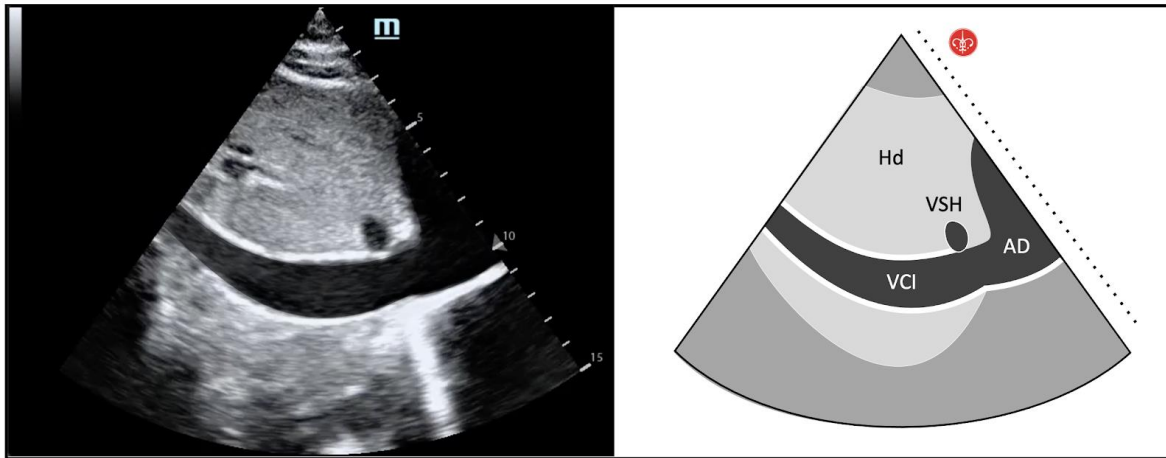


Imagen Nro. 10. Ventana subxifoidea vena cava inferior. AD: aurícula derecha; Hd: hígado; VCI: vena cava inferior; VSH: vena suprahepática. El punto ideal para la medición del diámetro de la VCI es justo distal a la desembocadura de la vena suprahepática (VSH)

Características del FOCUS

La evaluación mediante FOCUS se caracteriza por ser un complemento a la valoración clínica y hemodinámica del paciente, además de ser rápida, dirigida, *cualitativa o semicuantitativa*, y orientada a dar respuesta a preguntas clínicas específicas, de particular utilidad en la falla respiratoria y/o circulatoria, y con el objetivo de generar una respuesta terapéutica (6). Los hallazgos ultrasonográficos deberán siempre correlacionarse con el escenario clínico del paciente y con otras herramientas de monitorización disponibles (presión venosa central, presión arterial, gasto urinario, saturación venosa central, diferencia veno-arterial de CO₂, gasto cardíaco medido mediante métodos invasivos o no invasivos, presiones pulmonares y en la vía aérea, etc.).

Mediante un abordaje sistemático aplicado a la cabecera del paciente, se pretende realizar una búsqueda ecográfica orientada a confirmar o descartar la presencia de uno o más síndromes cardíacos cardinales, entre los que se destacan el derrame pericárdico con taponamiento, las alteraciones de la función ventricular, el embolismo pulmonar, y la hipovolemia (22). Teniendo en cuenta lo anterior, se ha sugerido que el entrenamiento básico en ultrasonografía cardíaca debe hacer parte del entrenamiento inicial de todos los intensivistas, dejando el entrenamiento avanzado como una competencia opcional (23). Un estudio observacional prospectivo encontró una buena correlación entre los hallazgos mediante FOCUS realizado por residentes de medicina de urgencias con entrenamiento básico, y estudios realizados por cardiólogos a la hora de evaluar derrame pericárdico, trastornos de contractilidad miocárdica, y aumento de volumen y presiones en cavidades derechas (24).

Tabla 1. Características principales de la Ecocardiografía convencional vs Focus.

	Ecocardiografía convencional	FOCUS
Operador	Cardiólogo Ecocardiografista certificado	Intensivistas Urgenciólogos Anestesiólogos Otros especialistas
Requiere entrenamiento formal	Sí (supervisado)	Sí (supervisado)
Ventanas	Paraesternal eje largo (tracto de salida de VI – tracto de salida VD) Paraesternal eje corto (válvula aórtica, válvula mitral, músculos papilares, VI apical) Apicales (2 cámaras, 3 cámaras, 4 cámaras, 5 cámaras) Subxifoideas (4 cámaras, eje corto, eje largo, VCI) Supraesternales (eje corto, eje largo)	Paraesternal eje largo Paraesternal eje corto Apical 4 cámaras Subxifoidea 4 cámaras Subxifoidea VCI
Evaluación	Cualitativa / Cuantitativa	Cualitativa – Semicuantitativa
Informe	Detallado Anatomía – tamaño y volumen de cavidades (cuantitativo) Presiones Anatomía y función valvular (Análisis Doppler – gradientes valvulares) Función sistólica VI Función sistólica VD Fracción de eyección (cuantitativa) Contractilidad global y segmentaria Función diastólica Derrame pericárdico – taponamiento Defectos septales Valoración de raíz aórtica y aorta ascendente Valoración de VCI	Resumido Anatomía global Valoración cualitativa de tamaño de cavidades Valoración cualitativa de aparato valvular Valoración cualitativa / semicuantitativa de la función sistólica. Presencia o ausencia de derrame pericárdico Signos de taponamiento Relación VD/VI Signos indirectos de embolismo pulmonar Diámetro y variabilidad de la VCI

A continuación, se describen las principales aplicaciones del FOCUS para el diagnóstico de los distintos síndromes cardíacos, con sus aspectos ultrasonográficos más importantes.

Derrame pericárdico y taponamiento cardíaco.

La sociedad americana de ecocardiografía recomienda que la US cardíaca sea el estudio inicial de elección para evaluar la presencia de derrame pericárdico (DP) y taponamiento (25). A pesar de que el pericardio contiene usualmente alguna cantidad de líquido que permite lubricar y disminuir la fricción entre el pericardio visceral y parietal (hasta 50 ml de forma normal), teniendo en cuenta que se trata de un saco no distensible, la acumulación de un mayor volumen puede generar compresión de las estructuras que rodea. La curva de la relación presión/volumen del pericardio parietal muestra una relación no lineal; en la porción más plana de la curva es probable que un aumento en el volumen de líquido pericárdico produzca desde un nulo hasta un mínimo aumento en las presiones. Sin embargo, cuando se alcanza un umbral, pequeños cambios en el volumen pueden generar cambios

significativos en las presiones, las cuales se transmiten a las cavidades cardíacas impidiendo un llenado adecuado y generando el cuadro de taponamiento (25). Los hallazgos de fisiología de taponamiento mediante US pueden ser detectados antes de que se presenten los signos y síntomas clínicamente evidentes, y orientar hacia una intervención temprana (26). El volumen necesario para causar repercusión sobre presiones y volúmenes en las cavidades cardíacas dependerá de diferentes factores, como la velocidad con la que el volumen aumenta, el tamaño de las cavidades, la reserva fisiológica del paciente, entre otros.

Hallazgos ecográficos:

Derrame Pericárdico

El DP generalmente tiene apariencia anecoica (negro) y se localizan entre el corazón y el pericardio parietal (que usualmente tiene un aspecto hiperecoico) (26). Una separación entre ambas capas que se observa solamente durante la sístole representa casi siempre una cantidad mínima o clínicamente no significativa de líquido pericárdico; la visualización de este contenido anecoico tanto durante la sístole como durante la diástole se asocia generalmente con un volumen anormal de líquido pericárdico (> 50 ml). La presencia de coágulos o derrames de tipo inflamatorio podría ocasionar una visión más ecogénica (gris).

La ventana inicial para intentar identificar un DP es la paraesternal en el eje largo. El derrame pleural libre tiende a acumularse en las áreas de declive; inferior y/o posterior. En la mayoría de los casos el líquido inicialmente tendrá una localización posterior, justo detrás de pared del VI; a medida que aumenta la cantidad de líquido, es probable que adopte una distribución circunferencial y pueda visualizarse también en el aspecto anterior de la pantalla justo por encima de la pared del ventrículo derecho (12); en esta localización anterior de forma ocasional, la presencia de grasa pericárdica puede generar una apariencia ecográfica similar a la del DP (14). En algunos casos el DP podría localizarse únicamente en el aspecto anterior, haciendo más difícil su diferenciación con la grasa pericárdica; esta situación se asocia generalmente a la presencia de derrames septados, que son más frecuentes en el postoperatorio de cirugía cardíaca y en derrames de origen inflamatorio (27). La ventana paraesternal en el eje corto, así como la ventana subxifoidea ofrecen herramientas adicionales que permiten identificar un DP. La ventana apical no es la ideal para evaluar esta condición de forma inicial, sin embargo, también podría permitir visualizar derrames extensos.

Uno de los retos principales, especialmente para el operador con menor experiencia, es el de diferenciar el DP de un derrame pleural y/o de la presencia de líquido ascítico. Para intentar diferenciar el DP de un derrame pleural, es importante localizar la aorta descendente en la ventana paraesternal en el eje largo. El líquido

contenido en el pericardio tendrá una localización anterior a la aorta descendente (identificando también la reflexión pericárdica [hiperecoica] anterior a esta), mientras que el líquido pleural tendrá una localización posterior respecto de la aorta, por fuera de la reflexión pericárdica (imagen Nro. 11) (12).

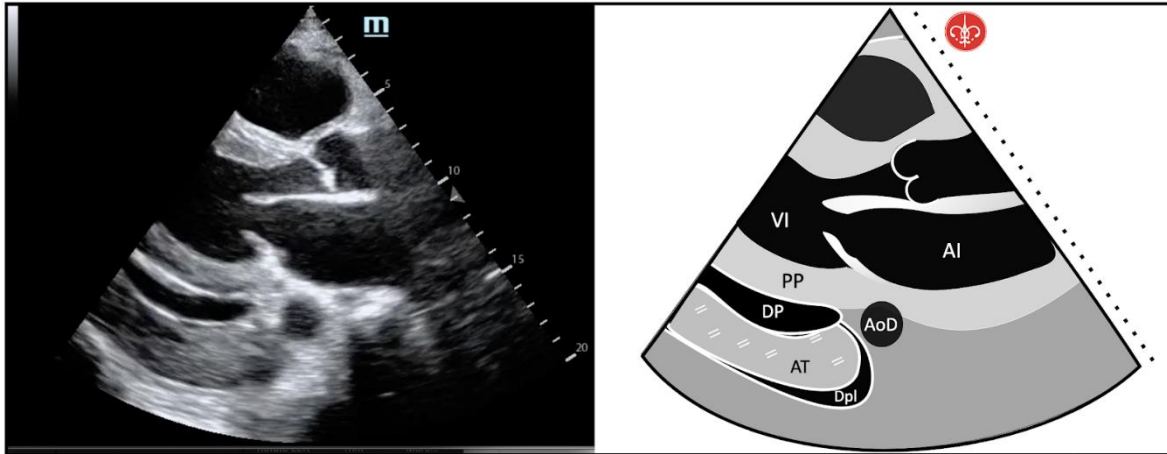


Imagen No. 11. Derrame pericárdico en ventana paraesternal eje largo. Fíjese la relación del derrame pericárdico vs el derrame pleural con relación a la aorta descendente. AI: aurícula izquierda; AoD: aorta descendente; AT: atelectasia del pulmón izquierdo; DP: derrame pericárdico; Dpl: derrame pleural izquierdo; PP: pared posterior del ventrículo izquierdo; VI: ventrículo izquierdo.

Cuantificación del derrame pericárdico

Existen diferentes formas de clasificar de forma cualitativa o semicuantitativa los derrames pericárdicos. Una de ellas sugiere estadificar el derrame como pequeño cuando hay un derrame no circunferencial con un espacio entre el pericardio visceral y parietal menor de 1 cm durante la diástole, moderado cuando es circunferencial con un espacio menor de 1 cm, y grande cuando el derrame es circunferencial y el espacio es mayor de 1 cm (12). Otra forma, utilizando solo la medida entre las 2 capas del pericardio, sugiere clasificarlos como pequeño (menor a 10 mm), moderado (de 10 a 20 mm), grande (mayor de 20 mm), o muy grande (mayor a 25 mm) (25). Sin embargo, debe recordarse que más allá de la clasificación cuantitativa, en el escenario de un paciente crítico, lo más importante independientemente del tamaño del derrame, será buscar signos de taponamiento.

Taponamiento cardíaco

No todo derrame pericárdico produce un taponamiento cardíaco. Esta última condición ocurre cuando el volumen en el saco pericárdico alcanza un punto de inflexión en el cual se superan las presiones de llenado de las cavidades cardíacas, generando compresión sobre estas. Las cavidades derechas hacen parte de un

sistema de bajas presiones y usualmente son las primeras en comprometerse; ***el colapso diastólico de la aurícula derecha es el signo ecocardiográfico más temprano de taponamiento, seguido por el colapso diastólico temprano del ventrículo derecho*** (26). Cabe recordar que, como se mencionó antes, en muchas ocasiones los hallazgos mediante US preceden a los hallazgos clínicos clásicos de taponamiento. Estos cambios se visualizan mejor en las ventanas apicales y subxifoideas, y pueden observarse tardíamente en casos en los que las presiones de las cavidades derechas se encuentren aumentados, por ejemplo, en el escenario de hipertensión pulmonar de cualquier origen (15). En algunos casos se puede evidenciar además colapso de la aurícula izquierda; el colapso del VI es una situación extremadamente rara teniendo en cuenta la masa miocárdica y las altas presiones a las que está habituada esta cámara cardíaca.

Algunas estrategias para aumentar la probabilidad reconocer adecuadamente la fisiología de taponamiento en casos de DP documentado, incluyen el registro electrocardiográfico simultáneo (que permite identificar con mayor precisión las diferentes fases del ciclo cardíaco), la evaluación adicional de la VCI (cuya dilatación y ausencia de variabilidad respiratoria se asocian con taponamiento), y el uso de Doppler como parte de una exploración más avanzada.

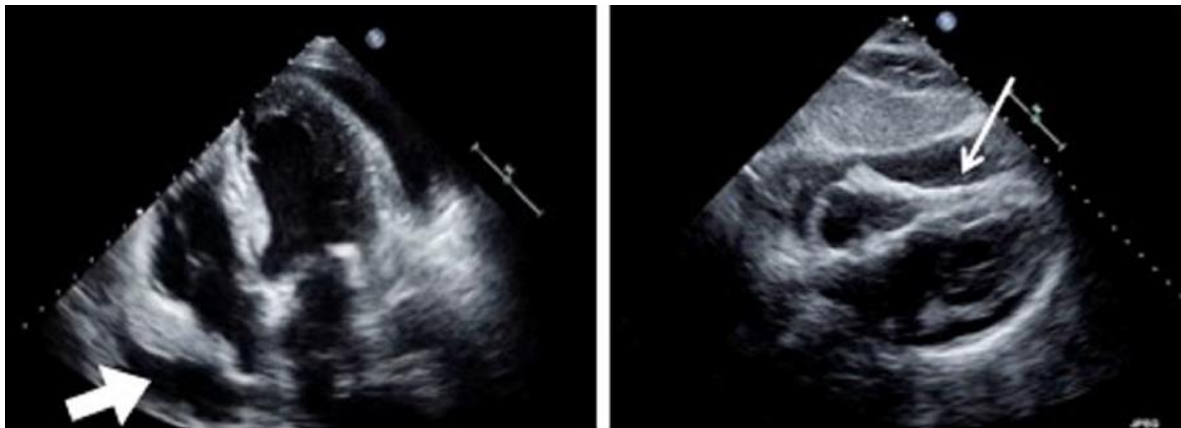


Imagen Nro. 12. Taponamiento cardíaco. Nótese el colapso de la aurícula derecha (flecha gruesa), y del ventrículo derecho (flecha delgada).

Evaluación de la función ventricular.

La evaluación mediante FOCUS permite identificar de forma rápida y precisa algunos aspectos importantes relacionados con la función de bomba cardíaca, incluyendo el tamaño, la estructura y la función ventricular (16). La descripción de la función ventricular en FOCUS se realiza de forma cualitativa o semicuantitativa, para referirse a una función hiperdinámica, normal, reducida, o severamente

reducida, teniendo en cuenta que en el escenario del paciente críticamente enfermo no se requiere una evaluación cuantitativa detallada para tomar decisiones clínicas (28). Existe hasta el momento suficiente evidencia que demuestra que residentes y especialistas no cardiólogos, tras un período de entrenamiento básico, pueden realizar estimaciones sobre la función ventricular con una adecuada correlación respecto a evaluaciones realizadas por cardiólogos o ecocardiografistas certificados (7) (24) (29) (30) (31) (32) (33), y con un mayor rendimiento diagnóstico al compararse con otras herramientas como el electrocardiograma convencional (ECG) (4).

La función sistólica del VI depende en gran medida del acortamiento de las fibras musculares en diferentes planos (longitudinal, radial, circunferencial) (34); este acortamiento de fibras genera cambios estructurales que pueden ser explorados mediante US: el desplazamiento del anillo mitral hacia el ápex, el aumento del grosor de la pared ventricular, y la disminución del tamaño de cavidades durante la sístole, entre otros, son algunos de los parámetros evaluados para realizar una exploración semicuantitativa de la función ventricular izquierda mediante FOCUS (16).

Hallazgos ecográficos

Es posible que operadores experimentados puedan realizar una valoración cualitativa rápida acerca de la función ventricular; para los operadores con menor experiencia, se sugiere realizar una valoración secuencial evaluando los siguientes aspectos:

- Acortamiento longitudinal: corresponde al grado de acortamiento del VI en un plano longitudinal, tomando como referencia la base y el ápex ventricular. Un mayor acortamiento se relaciona con una mayor contractilidad, y viceversa. Se evalúa en la ventana apical 4 cámaras. Se sugiere identificar los anillos mitrales como punto de referencia para la base. En sístole, la contracción del VI genera un acortamiento de su longitud, haciendo que la distancia entre la base y el ápex sea menor, mientras que en diástole la relajación de las fibras hace que la longitud alcance su punto máximo. Para realizar la medición de forma más precisa puede utilizarse el modo M. Un cambio en la longitud mayor de 1 cm se asocia usualmente con una buena función sistólica, mientras que un cambio menor a 1 cm se asocia con una función sistólica reducida.

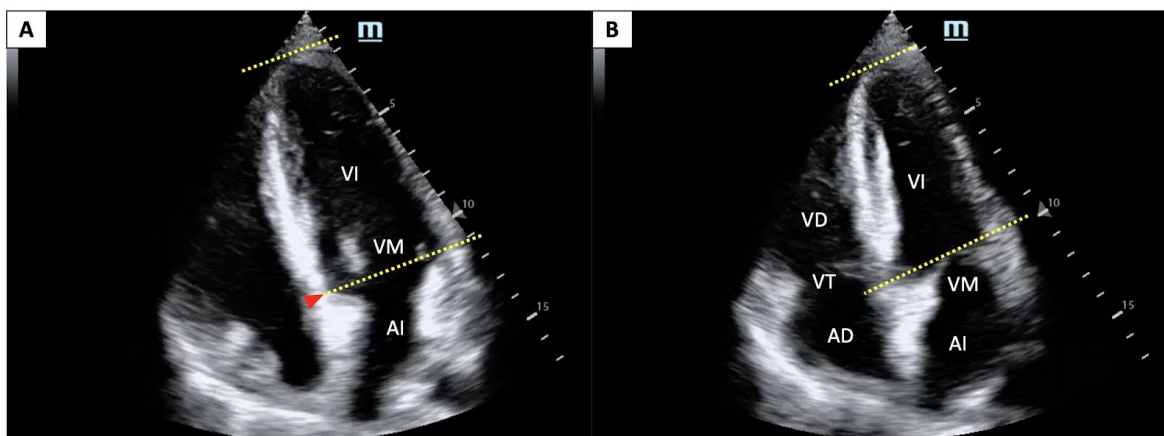


Imagen Nro. 13. Representación esquemática de una ventana apical 4 cámaras. Medición de la longitud desde la base hasta el ápex del ventrículo izquierdo durante diástole (A) y durante sístole (B) usando como referencia el anillo de la válvula mitral (flecha roja). Una diferencia de A menos B mayor de 1 cm se asocia generalmente con una buena función sistólica. Nótese además la disminución del tamaño de las cavidades, que son otros aspectos para revisar durante la evaluación de la función ventricular. AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo; VM: válvula mitral; VT: válvula tricúspide.

- Movilidad de la valva mitral anterior: como se mencionó anteriormente, en la ventana paraesternal eje largo, es posible visualizar las valvas anterior y posterior de la válvula mitral. En esta ventana, durante la diástole y el llenado ventricular, la valva anterior se abre en un movimiento dirigido hacia el septum interventricular. El grado en el que se desplaza esta valva hacia el septum es también un indicador de la función ventricular. Si se divide a través de una línea imaginaria la cavidad del VI en dos mitades (anterior y posterior), la valva anterior debería sobrepasar esta línea (es decir, acercarse más al septum) para considerarse una adecuada contractilidad. Una valva mitral con un escaso desplazamiento de su valva anterior es usualmente indicativa de una función ventricular reducida.

Basándose en este postulado se puede usar también el modo M para cuantificar la distancia entre el septum interventricular y la valva anterior de la mitral. El momento en el que la valva anterior se encuentra en mayor proximidad con el septum interventricular se ha conocido como el **punto E**. De esta manera, la **separación septal en el punto E** (EPSS por sus siglas en inglés), es decir, la distancia que hay entre la valva anterior y el septum en su punto más cercano, puede servir como indicativo de la función ventricular (8). El punto de corte usualmente está entre 6 y 7 mm; una mayor distancia entre la valva y el septum en el punto E se relaciona con una disminución de la función contráctil. Valores por encima de 10 mm se asocian generalmente con una función ventricular severamente reducida. Algunas condiciones como las valvulopatías mitral o aórtica y la hipertrofia ventricular izquierda podrían afectar esta medición y hacer que sus resultados no sean interpretables (35).

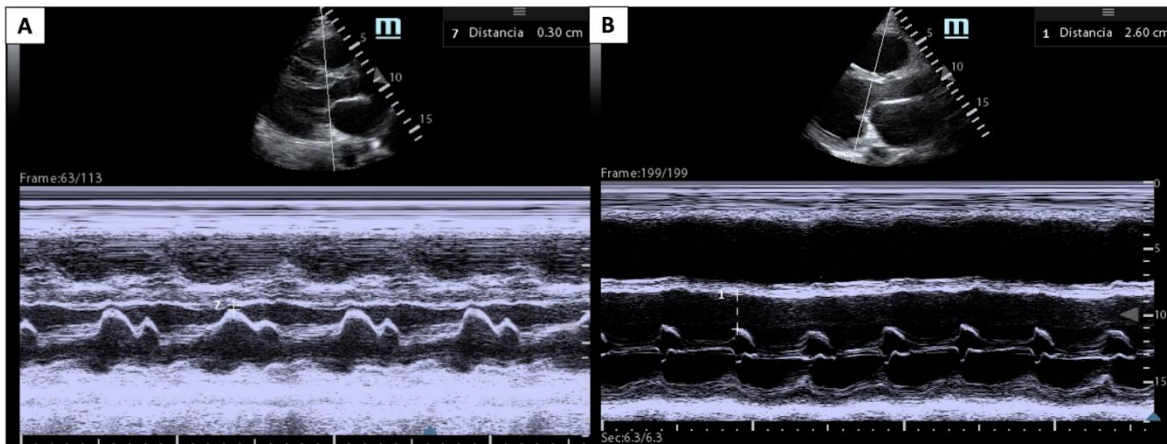


Imagen Nro. 14. Separación septal del punto E (eg. EPSS). A. Función contráctil normal (< 0,6 mm). B. Función contráctil severamente disminuida (> 10 mm).

- Engrosamiento de la pared ventricular y reducción del área ventricular: un adecuado acortamiento de las fibras musculares miocárdicas se relaciona en el US con un engrosamiento de las paredes del ventrículo y una reducción del diámetro de la cavidad. Aunque debe ser observado en todas las ventanas, se aprecia mejor en la ventana paraesternal en el eje corto. Puede realizarse una estimación visual o una medición, preferiblemente en modo M del grosor de la pared y del área de la cavidad del VI en diástole (donde se evidencia el grosor mínimo de la pared ventricular y un diámetro de la cavidad en su punto máximo) y en el final de la sístole (donde debe observarse el máximo grosor de la pared del ventrículo y un área de la cavidad en su punto mínimo). Un aumento del grosor de la pared mayor a 1/3, y una reducción del diámetro de la cavidad ventricular de más de 1/3 durante la sístole con respecto a la diástole son indicativos de una adecuada función ventricular.

Otra forma de cuantificar la reducción del área ventricular es usando el modo M en la ventana paraesternal en el eje largo para medir en 2 dimensiones el cambio en el diámetro del ventrículo izquierdo entre la diástole y la sístole; esta medición es conocida como **acortamiento fraccional**, y se calcula con la siguiente fórmula: $(DFD - DFS)/DFD \times 100$ (donde DFD es el diámetro al final de la diástole [medido en el punto en que la distancia es mayor] y DFS el diámetro al final de la sístole [medido en el punto en que la distancia es más corta]). En general, un acortamiento fraccional normal se encuentra entre el 30 y el 45% (33), con valores por debajo de 30% relacionados con una reducción de la función ventricular.

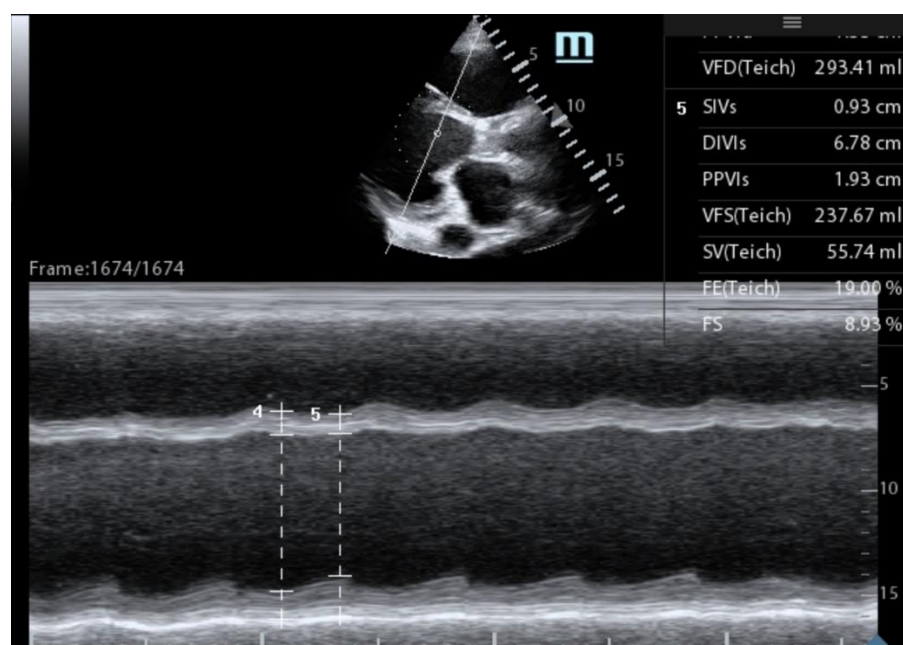


Imagen Nro. 15. Eje paraesternal largo en modo M. Función ventricular izquierda severamente disminuida; Fracción de acortamiento del 9.93%

Tabla 2 – Resumen de los diferentes aspectos para evaluar función ventricular mediante FOCUS.

Parámetro	Ventana ideal	Valor normal	Función ventricular reducida
Acortamiento longitudinal	Apical 4 cámaras	> 1 cm	< 1 cm
Movilidad de la valva mitral anterior	Paraesternal eje largo	Sobrepasa línea media acercándose al septum	No sobrepasa la línea media
Separación sistólica del punto E	Paraesternal eje largo	< 6 – 7 mm	> 7 mm (valores > 10 mm relacionados con reducción severa)
Engrosamiento de la pared del VI durante la sístole	Paraesternal eje corto	Aumento del grosor mayor a 1/3 respecto de la diástole	Aumento del grosor menor a 1/3 respecto de la diástole
Reducción del diámetro del VI durante la sístole	Paraesternal eje corto	Reducción mayor a 1/3 respecto de la diástole	Reducción menor a 1/3 respecto de la diástole
Acortamiento fraccional del VI	Paraesternal eje largo	30-45%	< 30%

Se deben integrar de forma analítica todos los aspectos evaluados para intentar describir la función sistólica como normal, reducida, o severamente reducida.

Existen métodos para realizar una evaluación cuantitativa más precisa mediante la medición del **área** de las cavidades cardíacas y el análisis Doppler, que permiten calcular de forma estimada la fracción de eyección del VI y el gasto cardíaco, sin embargo, estas mediciones hacen parte de un análisis más avanzado y **no se encuentran contempladas dentro del análisis mediante FOCUS**.

Evaluación del volumen intravascular

Uno de los principales retos a los que a menudo se ve enfrentado el personal a cargo de la atención de pacientes críticamente enfermos, es la correcta identificación del estado de volumen intravascular. El volumen circulante efectivo se ha definido como el necesario para mantener la perfusión tisular de acuerdo con las necesidades metabólicas, teniendo en cuenta además el tono vasomotor y el desempeño contráctil de la bomba cardíaca (36); este volumen circulante efectivo, por tanto, es mucho más importante desde el punto de vista fisiológico que el volumen total. Un juicio inadecuado del estado de volumen podría traducirse en la administración excesiva de líquidos a un paciente que posiblemente no los necesite, con una alta probabilidad de generar sobrecarga hídrica y sus consecuencias indeseables (edema pulmonar, falla cardíaca, falla renal, alteración de la función intestinal, síndrome de hipertensión intraabdominal, alteración en la cicatrización de heridas, entre otros) (37), o por el contrario, en un aporte insuficiente a un paciente que probablemente se podría beneficiar de un aporte adicional de líquidos, disminuyendo la entrega de oxígeno a los tejidos y perpetuando un estado de choque circulatorio con sus consecuencias fisiológicas catastróficas (38). Ambas situaciones se han asociado con peores desenlaces clínicos en pacientes críticos (39) (40) (41). La evaluación de variables estáticas (como la presión venosa central [PVC]) ha demostrado una pobre correlación con el estado actual de volemia y la respuesta a volumen al compararse con variables dinámicas (42), haciendo necesario evaluar alternativas para intentar identificar con un mayor grado de certeza el estado de volemia. Dentro de las diferentes estrategias para evaluar el estado de volumen intravascular y definir conductas clínicas referentes al manejo de líquidos, la US se destaca por ser no invasiva, no usar radiación ionizante y estar disponible de forma rápida la cabecera del paciente (43). El uso de Doppler para cuantificación del gasto cardíaco se ha utilizado para evaluar de forma objetiva la respuesta a volumen tras la administración de un bolo de líquidos o mediante la prueba de elevación pasiva de miembros inferiores (44) (45) (46) (47), sin embargo, esta evaluación hace parte de competencias ecocardiográficas más avanzadas, que se encuentran fuera del espectro de la presente revisión. Para estimar el volumen intravascular dentro de la evaluación FOCUS, se destacan la valoración de las cavidades cardíacas y la medición del diámetro de la VCI, así como sus variaciones durante el ciclo respiratorio (27).

Hallazgos ecográficos

- Valoración de cavidades cardíacas: existen algunos hallazgos al evaluar las cavidades cardíacas que podrían orientar sobre el estado de volemia; la apariencia dilatada del ventrículo izquierdo al final de la diástole se puede

relacionar con un aumento del volumen telediastólico, sugestivo de un volumen intravascular incrementado. Lo anterior sumado a una función sistólica reducida podría orientar hacia un estado de hipervolemia. Por el contrario, una apariencia de cavidades cardíacas con volumen disminuido, y la visualización del signo del beso (contacto de los músculos papilares durante la sístole en la ventana paraesternal en el eje corto), son altamente sugestivas de hipovolemia (14).

- Medición del diámetro de la VCI: es el aspecto más estudiado para estimar el estado de volemia. Tanto el diámetro absoluto de la VCI proximal como la cuantificación de la variabilidad de este diámetro con el ciclo respiratorio (conocido como el índice de VCI o índice de colapsabilidad de la VCI) se han empleado como recursos para intentar estimar la condición del volumen intravascular (21). Debe destacarse, sin embargo, que el diámetro de la VCI y el índice de colapsabilidad no dependen únicamente del estado de volemia; las presiones en las cavidades cardíacas derechas son otro factor determinante de estas variables, y cualquier condición que afecte las presiones derechas puede afectar también las medidas en la VCI (27).

Para la evaluación de la VCI se pueden usar el transductor sectorial o el transductor convexo que se utiliza usualmente para examen de estructuras abdominales. La medición del diámetro de la VCI debe realizarse de forma perpendicular a la VCI en su eje largo (usando la ventana subxifoidea como se ha mencionado previamente), usualmente a 1-2 cms distal a la unión con la aurícula derecha (48). Generalmente este punto se encuentra justo distal a la desembocadura de la vena suprahepática. Es importante tener en cuenta que existen diferencias desde el punto de vista fisiológico entre pacientes respirando espontáneamente y pacientes mecánicamente ventilados, que tienen repercusiones en las medidas de la VCI.

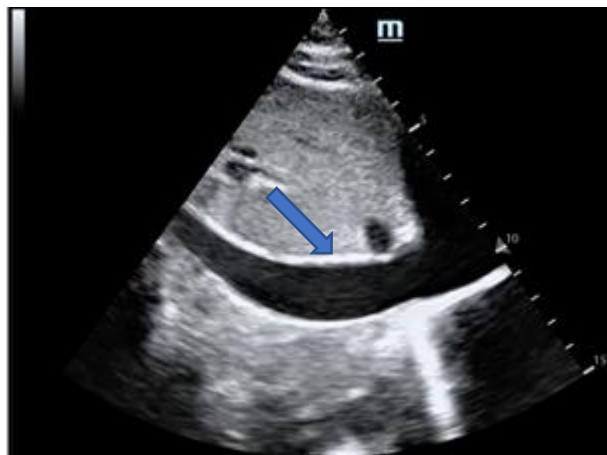


Imagen Nro. 16. Punto ideal para la medición del diámetro de la VCI.

En condiciones normales, en pacientes que respiran espontáneamente, la presión negativa que se genera durante la inspiración produce un efecto de succión desde la VCI extratorácica hacia el tórax y la aurícula derecha, haciendo que el diámetro de la VCI sea menor hacia el final de la inspiración. Por el contrario, durante la espiración, la presión intratorácica aumenta comportándose como una fuerza que se opone al retorno venoso, y, por lo tanto, haciendo que el diámetro de la VCI sea mayor. Durante la ventilación mecánica ocurre lo contrario; teniendo en cuenta que durante la fase inspiratoria la presión intratorácica aumenta y durante la fase espiratoria disminuye. Un metaanálisis que incluyó estudios con pacientes críticos de diversas patologías concluyó que la evaluación del índice de VCI en pacientes ventilados tuvo un mejor rendimiento diagnóstico que la medición en pacientes respirando espontáneamente (49). Una posible explicación que se ha planteado es que durante la ventilación mecánica las presiones y los volúmenes son más constantes al compararse con pacientes en respiración espontánea, haciendo que las mediciones sean más homogéneas (19). La medición puede realizarse en el modo B o en el modo M, teniendo en cuenta que se debe medir el diámetro mayor y el diámetro menor (la relación con la fase inspiratoria o espiratoria dependerá de si se trata de un paciente respirando espontáneamente o bajo ventilación mecánica). No hay claridad sobre cuál modo (B o M) es mejor para realizar esta evaluación. Algunos estudios sugieren que el modo M ofrece una mayor sensibilidad para detectar variaciones en el diámetro (50), mientras que otros parecen evidenciar una menor variabilidad inter-observador con el modo B (51). Se requieren estudios más grandes para intentar establecer el modo ideal para realizar las mediciones. Otro aspecto relevante para tener en cuenta es que la precisión de estas mediciones puede verse seriamente alterada en condiciones que generen aumento en la presión intraabdominal (52).

Es importante mencionar, que la interpretación de los hallazgos debe ser integrada siempre con el contexto clínico del paciente; generalmente los valores intermedios tienen una pobre correlación con el estado de volemia y estos resultados deben interpretarse con extrema cautela. La mayor utilidad de la medición de la VCI se encuentra en los valores extremos (53). En este sentido, una VCI aplanada o con un diámetro menor a 1 cm se asocia casi invariablemente con hipovolemia (54); por otra parte, una VCI pletórica, con un diámetro que supere los 2,5 cms, tiene generalmente un significado patológico, ya sea por aumento del volumen intravascular, o, como se ha mencionado previamente, por alguna condición que genere aumento de las presiones en cavidades derechas (taconamiento cardíaco, embolismo pulmonar, neumotórax a tensión, hipertensión pulmonar).

Índice de colapsabilidad de la VCI (iVCI)

Como se ha mencionado previamente, corresponde al grado de variación en el diámetro de la VCI con respecto al ciclo respiratorio (es independiente del ciclo

cardíaco). En términos generales, grandes variaciones se relacionan con estados de depleción de volumen, mientras que una variabilidad disminuida se puede relacionar con estados de sobrecarga de volumen (o de aumento de presiones en cavidades derechas).

Matemáticamente, se expresa a través de la siguiente fórmula (19):

$$iVCI = \frac{(D_{max} - D_{min})}{D_{max}} \times 100$$

Donde, iVCI (expresado en %) es el índice de Vena Cava Inferior, Dmax corresponde al diámetro máximo de la VCI, Dmin al diámetro mínimo de la VCI.

Teniendo en cuenta estudios que han correlacionado medidas de la VCI (diámetro e iVCI) con una variable estática del estado de volumen como la PVC, se han intentado establecer puntos de corte para tratar de definir si un paciente se encuentra hipovolémico, normovolémico o hipervolémico.

	Hipovolemia	Normal		Hipervolemia*
Diámetro VCI	< 2,1 cms	< 2,1 cms	> 2,1 cms	> 2,1 cms
iVCI	> 50%	< 50%	> 50%	< 50%

* Considerar condiciones que aumenten presiones en cavidades derechas.

Adaptado de Montenegro, A. A., Aguiar, L. G., Martínez, J., & Granada, J. (2020). Índice vena cava inferior: revisión de la literatura. Acta Colomb Cuid Intensivo.

Sin embargo, los estudios no han podido demostrar de forma consistente una correlación lineal entre el diámetro de la VCI y el iVCI con la PVC ni con la respuesta a volumen. *Por eso la interpretación de estos datos debe realizarse con cautela especialmente con valores intermedios; se sugiere tomar decisiones utilizando herramientas adicionales para predecir respuesta a volumen (53).*

Embolismo Pulmonar

En general, la sensibilidad de la ultrasonografía cardíaca para el diagnóstico de tromboembolismo pulmonar (TEP) es relativamente baja. Un metaanálisis reciente estima que la *sensibilidad global* del FOCUS para TEP es de un 53% (55), haciendo que su utilidad sea limitada para confirmar o descartar este diagnóstico en *pacientes no seleccionados*; en estos casos, la angiotomografía pulmonar o la gammagrafía de ventilación/perfusión siguen siendo los estudios ideales (56). Sin embargo, evidencia actual sugiere que, **en el caso específico de pacientes con compromiso hemodinámico como taquicardia e hipotensión**, la sensibilidad podría alcanzar hasta un 90%, haciendo que la ausencia de signos de disfunción

ventricular derecha se relacione con un diagnóstico de TEP poco probable, pudiendo orientar la sospecha clínica hacia otra etiología (57). Esto, sumado a que se trata de una herramienta disponible a la cabecera del paciente, y que, a diferencia de gammagrafía de V/Q o la angiotomografía, no requiere traslado a otras áreas hospitalarias, exposición a radiación ionizante ni uso de medio de contraste, hace que sea un recurso útil en el escenario de pacientes críticamente enfermos (5) (7).

Hallazgos ecográficos

En condiciones normales, el VD usualmente tiene un tamaño menor al 60% con relación al tamaño del VI (relación VD:VI <0,6). Hacia el ápex, esta diferencia de tamaño se acentúa aún más, con el VI ocupando las 2/3 partes. Las paredes del VD son más delgadas, y las presiones en las cavidades son menores con respecto a las cavidades izquierdas, haciendo que el septum interventricular se encuentre contorneado o arqueado hacia el VD, adquiriendo un aspecto de medialuna cuando se valora en la ventana paraesternal eje corto (12).

La visualización directa de un trombo en la circulación pulmonar es un hallazgo muy poco común, y que se podría encontrar principalmente en el ecocardiograma TT convencional (58). Mediante el FOCUS, es posible evaluar signos indirectos de TEP, como lo son la dilatación de la aurícula derecha, del VD (aumento de la relación VD:VI), alteración de la función contráctil del VD, aplanamiento del septum, presencia del signo de McConnell (hipo o aquinesia de los segmentos basal y medio del VD con hiperquinesia del ápex) (15) (6).

La valoración del tamaño del VD se puede realizar en las ventanas paraesternales y en la ventana apical 4 cámaras. En la ventana paraesternal eje largo, el tamaño del VD debería ser similar al de la aurícula izquierda y al de la raíz aórtica (relación 1:1:1) (27). La función contráctil del VD podría evaluarse de forma sencilla usando el modo M en una ventana apical 4 cámaras para medir el movimiento del anillo valvular tricuspídeo durante la sístole; un desplazamiento menor a 1,7 cm se relaciona con una contractilidad reducida (57). Una relación VD:VI igual o mayor a 1 es altamente sugestiva de disfunción ventricular derecha. El aplanamiento septal puede valorarse mejor en la ventana paraesternal eje corto, haciendo que el VD cambie su morfología habitual en forma de semiluna hacia un aspecto más redondeado, y el VI cambie su aspecto redondeado normal hacia un aspecto en forma de letra “D” (12). El signo de McConnell podría apreciarse en la ventana apical 4 cámaras, y se refiere a la presencia de un patrón alterado en la motilidad regional del VD, con una contractilidad disminuida o abolida a nivel del segmento medio de la pared del VD, y un ápex con contractilidad normal, o incluso hiperdinámico (59) (60).

Conclusión:

El uso de la ultrasonografía cardíaca en el escenario del paciente crítico constituye una habilidad que podría ser aprendida de forma sencilla e implementada de forma rápida con el fin de dar respuesta a preguntas clínicas específicas y realizar los ajustes necesarios al plan de manejo. Existe una aceptable correlación entre los hallazgos por ecocardiografía convencional y los hallazgos mediante FOCUS para la mayoría de los síndromes cardinales de origen cardiovascular. El entrenamiento continuo en esta técnica se convierte en una competencia necesaria para el grupo de profesionales que atienden pacientes en condición crítica, para integrarla con las demás herramientas disponibles y poder contar con la mayor cantidad de elementos clínicos de juicio para la toma de decisiones terapéuticas que se podrían traducir en mejores desenlaces clínicos.

Referencias

1. *Focused Cardiac Ultrasonography. Current Applications and Future Directions.* **Luong, Christina L. , y otros.** 2019, J Ultrasound Med, Vol. 38, págs. 865-877.
2. *Point-of-Care Ultrasonography.* **Moore, Christopher L y Copel, Joshua A.** 2011, N Engl J Med, Vol. 364, págs. 749-757.
3. *Focused cardiac ultrasound in anesthetic practice: technique and indications.* **de Vasconcelos Papa, Fabio.** 3, 2020, Rev Bras Anesthesiol., Vol. 70, págs. 288-293.
4. *International Evidence-Based Recommendations for Focused Cardiac Ultrasound.* **Via, Gabriele, y otros.** 7, 2014, Journal of the American Society of Echocardiography, Vol. 27, págs. 683e1-683e33.
5. *Expert Consensus Statement. Focused Cardiac Ultrasound: Recommendations from the American Society of Echocardiography.* **Spencer, Kirk T, y otros.** 2013, J Am Soc Echocardiogr, Vol. 26, págs. 567-581.
6. *Focused Critical Care Echocardiography.* **Oren-Grinberg, Achikam, Talmor, Daniel y Brown, Samuel M.** 11, 2013, Crit Care Med, Vol. 41, págs. 2.618-2.627.
7. *A Shifting Paradigm. The Role of Focused Cardiac Ultrasound in Bedside Patient Assessment.* **Marbach, Jeffrey A., y otros.** 2020, CHEST, págs. 1-12.
8. *Focused Cardiac Ultrasonography.* **Spencer, Kirk T. y Flachskampf, Frank A.,** 17, 2019, JACC - Cardiovascular Imaging, Vol. 12, págs. 1.243-1.254.
9. *Lung Ultrasound for Critically Ill Patients.* **Mojoli, Francesco, y otros.** 6, 2019, Am J Respir Crit Care Med, Vol. 99, págs. 701-714.
10. *Focused echocardiography and lung ultrasound protocol for guiding treatment in acute heart failure.* **Öhman, Jonas, y otros.** 2018, ESC Heart Failure, Vol. 5, págs. 120-128.

11. *Ultrasound Physics*. **Shriki, Jesse**. 2014, Crit Care Clin, Vol. 30, págs. 1-24.
12. *Cardiac Echocardiography*. **Perera, Phillips, y otros**. 2014, Crit Care Clin, págs. 47-92.
13. *Current Issues with Emergency Cardiac Ultrasound Probe and Image Conventions*. **Moore, Chris**. 3, 2008, ACAD EMERG MED, Vol. 15, págs. 278-284.
14. *Emergency Echocardiography*. **Weekes, Anthony J y Quirke, Dale P**. 2011, Emerg Med Clin N Am, Vol. 29, págs. 759-787.
15. *A practical approach to goal-directed echocardiography in the critical care setting*. **Walley, Patricia E, y otros**. 681, 2014, Critical Care, Vol. 18, págs. 1-11.
16. *Focused Cardiac Ultrasonography for Left Ventricular Systolic Function*. **Prada, Gabriel, y otros**. [ed.] Julie R. Ingelfinger. 21, 2019, N Engl J Med, Vol. 381, págs. 1-6.
17. *Integration of transthoracic focused cardiac ultrasound in the diagnostic algorithm for suspected acute aortic syndromes*. **Nazerian, Peiman, y otros**. 2019, European Heart Journal, Vol. 40, págs. 1952-1960.
18. **Beraud, Anne-Sophie y Burkett, Toni**. *Introduction to transthoracic echocardiography*. s.l. : Philips Medical Education, 2014.
19. **Killu, Keith, Dulchavsky, Scott A. y Coba, Victor**. *The ICU Ultrasound Pocket Book. 1st Edition*. . 2010.
20. *Images in Anesthesiology: Early Identification of Tamponade Using Focused Cardiac Ultrasound*. **Sigakis, Matthew y Fiza, Babar**. 2018, Anesthesiology, Vol. 129, pág. 1025.
21. *Índice vena cava inferior: revisión de la literatura*. **Montenegro, Alvaro Andrés, y otros**. 2020, Acta Colomb Cuid Intensivo, págs. 1-8.
22. *Focused Cardiac Ultrasound*. **Andrus, Phillip y Dean, Anthony**. 4, 2013, Global Heart, Vol. 8, págs. 299-303.
23. *What is new in critical care echocardiography?* **Vignon, Philippe**. 40, 2018, Critical Care, Vol. 22, págs. 1-3.
24. *Focused cardiac ultrasound (FOCUS) by emergency medicine residents in patients with suspected cardiovascular diseases*. **Farsi, Davood, y otros**. 2017, J Ultrasound, Vol. 20, págs. 133-138.
25. *American Society of Echocardiography Clinical Recommendations for Multimodality Cardiovascular Imaging of Patients with Pericardial Disease. Endorsed by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance and Society of Cardiovascular Computed Tomography*. **Klein, Allan L, y otros**. 2018, J Am Soc Echocardiogr, Vol. 26, págs. 965-1012.

26. *Update on bedside ultrasound diagnosis of pericardial effusion.* **Ceriani, Elisa y Cogliati, Chiara.** 2016, Intern Emerg Med, págs. 1-5.
27. *Focused Cardiac Ultrasonography in the Emergent Patient.* **Weekes, Anthony J, Hwang, James y Ghali, Sama.** 2014, Ultrasound Clin, Vol. 9, págs. 143-171.
28. *Focused Cardiac Ultrasound: Where Do We Stand?* **Spencer, Kirk T.** [ed.] JM Gardin. 14, 2015, Curr Cardiol Rep, Vol. 17, págs. 1-8.
29. *Visual Estimation of Bedside Echocardiographic Ejection Fraction by Emergency Physicians.* **Ünlüer, Erden E., y otros.** 2, 2014, Western Journal of Emergency Medicine, Vol. 15, págs. 221-226.
30. *Assessment of Left Ventricular Function by Intensivists Using Hand-Held Echocardiography.* **Melamed, Roman, y otros.** 2009, CHEST, Vol. 135, págs. 1416-1421.
31. *Performance of emergency physicians in point-of-care echocardiography following limited training.* **Bustam, Aida, y otros.** 2014, Emerg Med J, Vol. 31, págs. 369-373.
32. *A pilot study of the clinical impact of hand-carried cardiac ultrasound in the medical clinic.* **Croft, Lori B, Duvall, W Lane y Goldman, Martin E.** 6, 2006, Echocardiography, Vol. 23, págs. 439-446.
33. *Pocket-size hand-held cardiac ultrasound as an adjunct to clinical examination in the hands of medical students and junior doctors.* **Panoulas, Vasileios F., y otros.** 2012, European Heart Journal – Cardiovascular Imaging, págs. 1-8.
34. *The Cardiac Cycle and the Physiologic Basis of Left Ventricular Contraction, Ejection, Relaxation, and Filling.* **Fukuta, Hidekatsu y Little, William C.** 2008, Heart Failure Clin, Vol. 4, págs. 1-11.
35. *Bedside Ultrasound in Resuscitation and the Rapid Ultrasound in Shock Protocol.* **Seif, Dina, y otros.** 2012, Critical Care Research and Practice, págs. 1-14.
36. *Fluid and volume monitoring.* **Pinsky, M. R., y otros.** 2, 2008, The International Journal of Artificial Organs, Vol. 31, págs. 111-126.
37. *Fluid overload in the ICU: evaluation and management.* **Claire-Del Granado, Rolando y Mehta, Ravindra L.** 109, 2016, BMC Nephrology, Vol. 17, págs. 1-9.
38. *Fluid management in perioperative and critically ill patients.* **Kang, Dongho y Yoo, Kyung Yeon.** 4, 2019, Acute and Critical Care, Vol. 34.
39. *Fluid overload, de-resuscitation, and outcomes in critically ill or injured patients: A systematic review with suggestions for clinical practice.* **Malbrain, Manu L.N.G, y otros.** 5, 2014, Anaesthesiology Intensive Therapy, Vol. 46, págs. 361-380.

40. *Association between fluid balance and survival in critically ill patients.* **Lee, J., y otros.** 2015, Journal of Internal Medicine, Vol. 277, págs. 468-477.
41. *Assessment of hypovolaemia in the critically ill.* **Van der Mullen, Jan, y otros.** 2, 2018, Anaesthesiology Intensive Therapy, Vol. 50, págs. 150-159.
42. *Should we measure the central venous pressure to guide fluid management? Ten answers to 10 questions.* **De Backer, Daniel y Vincent, Jean-Louis.** 43, 2018, Critical Care, Vol. 22, págs. 1-6.
43. *Assessing volume status and fluid responsiveness in the emergency department.* **Mackenzie, David C. y Noble, Vicky E.** 2, 2014, Clin Exp Emerg Med, Vol. 1, págs. 67-77.
44. *Guidelines for the Use of Echocardiography as a Monitor for Therapeutic Intervention in Adults: A Report from the American Society of Echocardiography.* **Porter, Thomas R., y otros.** 2015, J Am Soc Echocardiogr, Vol. 28, págs. 40-56.
45. *Echocardiography to guide fluid therapy in critically ill patients: check the heart and take a quick look at the lungs.* **Franchi, Federico, Vetrugno, Luigi y Scolleta, Sabino.** 3, 2017, Journal of Thoracic Disease, Vol. 9, págs. 477-481.
46. *Assessing dynamic fluid-responsiveness using transthoracic echocardiography in intensive care.* **Desai, N. y Garry, D.** 7, 2018, BJA Education, Vol. 18, págs. 218-226.
47. *Ultrasound stroke volume variation induced by passive leg raising and fluid responsiveness: An observational cohort study.* **Trifi, A., y otros.** 1, 2019, Med Intensiva, Vol. 43, págs. 10-17.
48. *Echocardiographic assessment of the right heart in adults: a practical guideline from the British Society of Echocardiography.* **Zaidi, Abbas, y otros.** 1, 2020, Echo Research and Practice, Vol. 7, págs. G19-G41.
49. *Ultrasonographic Measurement of The Respiratory Variation in the Inferior Vena Cava Diameter is Predictive of Fluid Responsiveness in Critically Ill Patients: Systematic Review and Meta-Analysis.* **Zhang, Zhongheng, y otros.** 5, 2014, Ultrasound in Medicine & Biology, Vol. 40, págs. 845-853.
50. *The role of inferior vena cava diameter in volume status monitoring; the best sonographic measurement method?* **Yamanoğlu, Nalan Gökçe Çelebi, y otros.** 2015, American Journal of Emergency Medicine, Vol. 33, págs. 433-438.
51. *Inferior Vena Cava Measurement with Ultrasound: What Is the Best View and Best Mode?* **Finnerty, Nathan M., y otros.** 3, 2017, Western Journal of Emergency Medicine, Vol. 18, págs. 496-501.

52. *Assessment of intravascular volume status and volume responsiveness in critically ill patients.* **Kalantari, Kambiz, y otros.** 2013, *Kidney International*, Vol. 83.
53. **Baston, Cameron M. , et al.** *Pocket Guide to POCUS: Point-of-Care Tips for Point-of-Care Ultrasound.* s.l. : McGraw-Hill, 2019.
54. *Role of inferior vena cava and right ventricular diameter in assessment of volume status: a comparative study.* **Zengin, Suat, y otros.** 2013, *American Journal of Emergency Medicine*, Vol. 31, págs. 763-767.
55. *Transthoracic Echocardiography for Diagnosing Pulmonary Embolism: A Systematic Review and Meta-Analysis.* **Fields, J. Matthew, y otros.** 2017, *Journal of the American Society of Echocardiography*, págs. 1-14.
56. **Denstaedt, Scott J. y Sisson, Thomas H.** Venous Thromboembolism in the Intensive Care Unit. [aut. libro] Robert H. Hyzy y Jakob McSparron. *Evidence-Based Critical Care. A Case Study Approach. Second edition.* s.l. : Springer Nature, 2020, págs. 189-199.
57. *Increased Sensitivity of Focused Cardiac Ultrasound for Pulmonary Embolism in Emergency Department Patients With Abnormal Vital Signs.* **Daley, James I., y otros.** 11, 2019, *ACADEMIC EMERGENCY MEDICINE*, Vol. 26, págs. 1.212-1.220.
58. *Saddle Pulmonary Embolism Visualized by Transthoracic Echocardiography.* **Kanjanauthai, Somsupha, y otros.** 11, 2010, *Journal of the American College of Cardiology*, Vol. 56.
59. *McConnell's Sign.* **Sosland, Rachel P. y Gupta, Kamal.** 2008, *Circulation*, págs. e517-e518.
60. *McConnell's Sign in Acute Pulmonary Embolism.* **Lau, Gary, Ther, Gabor y Swanevelder, Justiaan.** 5, 2013, *Anesthesia & Analgesia*, Vol. 116, págs. 982-985.
61. *Recommendations for chamber quantification.* **Lang, Roberto M., y otros.** 2006, *Eur J Echocardiography*, Vol. 7, págs. 79-108.